

- Список 2. Макрос позволяет создать раскрывающийся список для заполнения таблицы «Рекомендации». Запустить макрос можно с помощью комбинации клавиш.
- Структура. Макрос создает структуру данных на листе «Переменные 3». Запустить макрос можно с помощью комбинации клавиш.
- Шрифт. Макрос форматирует выбранный диапазон полужирным шрифтом Times New Roman размером 14 пунктов и назначает символам черный цвет. Запустить макрос можно с помощью комбинации клавиш.

На основе результатов оценки специалистов предприятия служба персонала:

- формирует кадровый резерв
- планирует обучение сотрудников на следующий период
- пересматривает заработные платы сотрудников, принимает решения о начислении премий и бонусов
- формирует план по подбору и ротации персонала
- определяет бюджет затрат на обучение на следующий период

Программа прошла успешную эксплуатацию на предприятии ООО «УралмашСпецсталь». КОМ-собеседование позволяет сэкономить время на проведение оценки качества работы персонала предприятия.

Удилов С.В.

ОБ УЛЬТРАЗВУКОВОМ МЕТОДЕ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ

Принцип действия ультразвуковых расходомеров основан на измерении акустических эффектов, возникающих при прохождении упругих колебаний через поток жидкости. Свое название эти приборы получили вследствие того, что практически все они работают в ультразвуковом диапазоне частот. Ультразвуковые расходомеры делятся на две разновидности: приборы, основанные на перемещении акустических колебаний движущейся средой и приборы, регистрирующие разность частот, возникающую при отражении акустических колебаний неоднородностями потока.

Наибольшее распространение получили ультразвуковые расходомеры, относящиеся к первой разновидности. В общем случае, при распространении ультразвуковых колебаний под некоторым углом к оси трубы, они проходят в измеряемом веществе путь длиной L . Проекция скорости потока V_L , усредненная по длине L на направление L будет $V_L \cos \alpha$. Если звуковой луч направ-

лен в сторону движения потока, то время τ_1 прохождения им расстояния L определится из уравнения (1):

$$\tau_1 = \frac{L}{(C + V_L \cos \alpha)}, \text{ где} \quad (1)$$

C -- скорость распространения акустических колебаний;

V_L - скорость потока вдоль траектории ультразвукового луча;

L – длина акустического тракта;

$\cos \alpha$ – угол, под которым ультразвуковой луч распространяется по отношению к потоку.

При обратном направлении звукового луча время τ_2 прохождения им того же расстояния L будет больше, как это следует из уравнения (2):

$$\tau_2 = \frac{L}{(C - V_L \cos \alpha)} \quad (2)$$

Если вычесть из первого уравнения второе и выразить скорость потока V_L , мы получим следующую формулу (3):

$$V_L = \frac{\Delta \tau \cdot C^2}{2L \cos \alpha} \quad (3)$$

Основная трудность при разработке ультразвуковых расходомеров связана с тем, что время $\Delta \tau$ чрезвычайно мало. В зависимости от длины акустического тракта L и скорости движения жидкости оно может составлять от нескольких наносекунд до микросекунды. При этом само время распространения акустических колебаний может составлять несколько сот микросекунд. Вызвано это тем, что скорость звука в воде несоизмеримо больше скорости измеряемого потока.

Существует несколько способов определения разности времен прохождения ультразвуковых колебаний:

- измерение разности фазовых сдвигов ультразвуковых колебаний, направленных по потоку и против него – фазовые ультразвуковые расходомеры;
- измерение разности частот повторения коротких импульсов или пакетов, направляемых одновременно по потоку и против него – частотные ультразвуковые расходомеры;

- непосредственное измерение разности времен прохождения коротких импульсов по потоку и против него – времяимпульсные ультразвуковые расходомеры.

Фазовые расходомеры некогда были очень распространены, несмотря на большое количество недостатков, присущих данному методу, основанному на зависимости фазовых сдвигов $\Delta\varphi$ от разности времен $\Delta\tau$.

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta\tau}{T} = 2\pi f\Delta\tau, \text{ где} \quad (4)$$

T – период колебаний;

f – частота колебаний.

Подставляя отсюда значение $\Delta\tau$ в выражение (3) получим:

$$V_L = \frac{\Delta\varphi \cdot C^2}{4\pi f \cdot L \cdot \cos\alpha} \quad (5)$$

Частотные ультразвуковые расходомеры измеряют частоту повторения коротких импульсов. Измеряемая этими приборами разность частот прямо пропорциональна скорости потока (6):

$$V_L = \frac{(f_1 - f_2) \cdot 2D}{\sin\alpha}, \text{ где} \quad (6)$$

D – внутренний диаметр проточной части расходомера.

Времяимпульсные ультразвуковые расходомеры непосредственно измеряют время распространения акустических колебаний в обоих направлениях, что предъявляет повышенные требования к их измерительным блокам. Однако, благодаря этому, времяимпульсные расходомеры могут реализовывать любую из приведенных выше формул, вводить коррекцию на температурное расширение материала без использования дополнительных датчиков температуры и т.д.

Недостатком выражений (3) и (5) является наличие C_2 в числителе, зависящей от температуры измеряемой жидкости. Однако, если вернуться к выражениям (1) и (2), просуммировать их, выразить скорость звука и подставить ее в выражение (3) мы получим формулу расчета скорости жидкости не зависящую от C_2 (7):

$$V_L = \frac{2L \cdot \Delta\tau}{\cos\alpha \cdot (\tau_1 + \tau_2)^2} \quad (7)$$

Здесь необходимо сделать следующие замечания:

- Формулу (7) могут реализовать только времяимпульсные расходомеры, так как в ней присутствуют абсолютные значения τ_1 и τ_2 . Фазовые ультразвуковые расходомеры могут применять лишь косвенные методы корректировки скорости звука через измерение температуры измеряемой жидкости.
- Формулы (6) и (7) могут применимы лишь в том случае, когда зондирование по потоку и против него производится одновременно, либо с незначительным промежутком. В противном случае, из-за изменения гидродинамических свойств потока, может появиться дополнительная погрешность измерения. Введение второго канала измерения, позволяющего одновременно зондировать поток в обоих направлениях, также может привести к дополнительной погрешности измерения вследствие неизбежно возникающей между ними асимметрии.

Недостатком акустического метода измерения потоков жидкости является то, что измеряется средняя скорость потока по линии ультразвукового луча, которая отличается от средней скорости потока. Соотношение между этими скоростями является функцией числа Рейнольдса. В свою очередь, число Рейнольдса зависит от вязкости жидкости, изменяющееся с изменением температуры (8):

$$Re = \frac{V_{cp} \cdot D \cdot \rho}{\mu} = \frac{V_{cp} \cdot D}{\nu}, \text{ где} \quad (8)$$

V_{cp} - средняя скорость потока жидкости, м/с;

D – диаметр трубопровода, м;

ρ - плотность жидкости, кг/м³;

μ - динамический коэффициент вязкости жидкости, Н · с / м²;

ν - кинематическая вязкость, м²/с.

Для того, чтобы показания ультразвукового расходомера не зависели от вязкости жидкости, ультразвуковой луч должен пересекать движущийся поток по хорде, отстоящей на определенное расстояние от центра трубы. Зондирование потока по нескольким хордам позволяет максимально точно учесть весь профиль скоростей, благодаря чему существенно сокращаются требования к прямым участкам как до, так и после расходомера.

Ультразвуковые приборы имеют ряд преимуществ перед расходомерами, основанными на других принципах измерения. Они не имеют подвижных частей в своем составе, благодаря чему повышается их надежность. Отсутствие в проточной части большинства ультразвуковых расходомеров местных сопротивлений в виде крыльчаток, призм и т.п. снижает гидравлические сопротивления

ния, создаваемые расходомерами и позволяет отказаться от установки фильтров перед ними. При этом, ультразвуковые расходомеры имеют широкий динамический диапазон и могут измерять неэлектропроводные среды – бензин, масло и т.д. Метод позволяет одинаково измерять как прямые, так и реверсивные потоки. Важным достоинством ультразвукового метода является возможность создания на его основе полностью автономных приборов.

Удилов С.В.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОГРЕШНОСТЬ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ

Учитывая то, что скорость распространения звука в воде относительно невысока, измерения в одноканальном расходомере разнесены во времени на значение $t_{изм}$, равное:

$$t_{изм} = T + 2 \cdot t_m + t_э, \text{ где} \quad (1)$$

T – время распространения ультразвуковых колебаний в среде;

t_m – время распространения ультразвуковых колебаний в металлических мембранах;

$t_э$ – время прохождения сигналов по электронной плате, включающее время, необходимое на измерение и обработку результатов. В зависимости от применяемого метода измерения временного интервала, это время может достигать от нескольких микросекунд

до секунды.

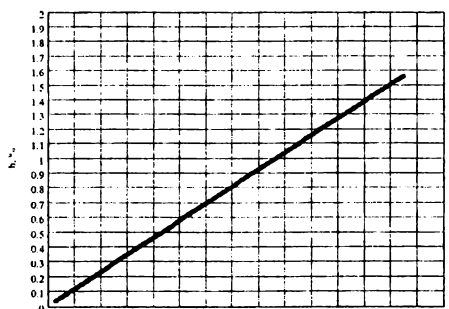


Рис. 1. Влияние скорости потока на погрешность, вносимой разностью температур

На рисунке 1 приведена зависимость между погрешностью измерения, возникающая вследствие разницы температур, а значит различных скоростей ультразвукового луча, при зондировании потока по очереди в двух направлениях и скоростью потока. В данном случае